

Сталі і сплави для енергобудування

Важливою проблемою енергетики є підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) теплових електростанції. Ця проблема має два аспекти. З одного боку підвищення (ККД) призводить до зниження витрат палива на виробництво 1 кВт-год електроенергії, з іншого – до зменшення викидів CO_2 в атмосферу. Для вирішення задачі необхідно підвищувати температуру і тиск перегрітої водяної пари. Насьогодні ці параметри складають 260 бар і 545 °С. До 2010 р. вони повинні бути підвищені відповідно до 290 бар і 600 °С. Надалі слід передбачити температури порядку 700 °С. Вирішення цієї задачі здійснюється зараз в межах міжнародного проекту USC 700 °С Rower Plant, розробленого найбільшими енергетичними концернами Європи. Важливою складовою проекту є розробка та дослідження матеріалів, що відповідають новим сучасним вимогам щодо їх властивостей.

- Для парозбирача і труб пароперегріву до 700 °С планують використання сплаву Alloy 617 (NiCr23Co12Mo), який вже зараз застосовують для футеровки камер спалювання стаціонарних газових турбін. Хімічний склад сплаву (% мас. частка): C = 0,05 – 0,15, Fe < 3,0, Si < 0,50, Mn = 0,50, Co = 10 – 15, Cr = 20 – 24, Ti < 0,60, P < 0,015, S < 0,015, Mo = 8 – 10, Al = 0,80 – 1,5, B < 0,06, Cu < 0,50, Ni > 44,5. Механічні властивості гарячекатаного листа: поріг текучості (σ_t) – не менше 322 МПа, поріг міцності (σ_b) не менше 734 МПа, відносне видовження (δ) – не менше 62 %. У холоднотягнутих трубах σ_t – не менше 383 МПа, σ_b – не менше 758 МПа, δ – не менше 56 %. Тривала міцність на базі 1000 годин при температурі 650 °С дорівнює 320 МПа, при температурі 760 °С – 150 МПа. Для надійної роботи в умовах теплових станцій необхідно досягти тривалої міцності 100 МПа при робочій температурі на базі 100000 годин. Відповідні роботи у цьому напрямку проводяться. Сплав стійкий у широкому діапазоні корозійних середовищ, добре зварюється. Структура складається з твердого розчину типу нікелевого аустеніту і вторинних фаз типу TiN та M_{23}C_6 .

- Для обладнання з більш високою температурою пари (до 800 °С) рекомендовано сплав Alloy C-263 наступного складу (% мас. частка): C = 0,04 – 0,08, Mn < 0,60, Si < 0,40, S < 0,007, P < 0,015, Cr = 19 – 21, Mo = 5,6 – 6,1, Co = 19 – 21, Cu < 0,20, Fe < 0,70, Al = 0,30 – 0,60, Ti = 1,9 – 2,4, Ni – решта. Додатки кобальту і молібдену зміцнюють твердий розчин, додатки алюмінію і титану сприяють утворенню фази $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ при дисперсійному твердненні. Бор і цирконій підвищують опір повзучості. В мікроструктурі спостерігаються також карбіди типу M_{23}C_6 . Їх виділення не повинні утворювати суцільних плів по границях зерен. Після дисперсійного тверднення $\sigma_t > 400$ МПа, $\sigma_b > 540$ МПа, $\delta > 15$ %. При напруженні 120 МПа протягом 50 год при 800 °С деформація повзучості не перевищує 0,1 %. Термічну обробку для одержання твердого розчину здійснюють при 1150 ± 10 °С. При цьому твердість дорівнює 230 НВ. Дисперсійне зміцнення здійснюють при 800 ± 15 °С тривалістю $8 \pm 0,5$ год на твердість 275 НВ. Пом'якшуючу обробку між процесами холодної деформації здійснюють при 1080 ± 10 °С, дифузійне відпалювання при 1150 °С.

- Для деяких елементів камер згорання використовують феритну сталь Crofer 22APV наступного складу (% мас. частка): C < 0,03, Cr = 20 – 24, Mn = 0,30 – 0,80, Si < 0,50, Cu < 0,50, Al < 0,50, S < 0,020, P < 0,05, Ti = 0,03 – 0,20, La = 0,04 – 0,20. Сталь використовується, головним чином, у вигляді тонких пластин, які одержують холодним прокатуванням з наступним рекристалізаційним відпалюванням. Термічну обробку проводять у вакуумних електропечах або у печах із захисною атмосферою.

Товстий лист одержують гарячим прокатуванням. Мінімальний рівень механічних властивостей складає: $\sigma_t = 350$ МПа, $\sigma_b = 350$ МПа, $\delta = 20$ %. Завдяки високій корозійній стійкості і жаростійкості сталь може використовуватись у різних середовищах при температурах до 900 °С. Високий опір корозії і окисленню пояснюється виникненням на поверхнях тонких окисних плівок, основними компонентами яких є Cr_2O_3 та $(Mn, Cr)_3O_4$. Важливою характеристикою цієї сталі є коефіцієнт лінійного розширення у широкому діапазоні температур (від кімнатної до 900 °С) близький до кераміки, з якої виготовляють корпуси камер згорання.

- При будівництві атомних електростанцій використовують різноманітні матеріали: конструкційні, жароміцні, корозійностійкі сталі і сплави, кольорові метали і сплави. Температура і тиск пари на АЕС нижчі від теплових. Тому найбільш придатним матеріалом для високотемпературних елементів (ротори, диски) є феритомартенситні хромисті сталі з 7 – 8 % хрому. Високотемпературна міцність цих сталей може бути підвищена введенням до їх структури дисперсних оксидів, які підвищують можливу температуру їх застосування на 100 °С.

- Умови експлуатації вітрових станцій, особливо у прибережних зонах, висуває певні вимоги до матеріалів стосовно їх міцності, корозійної і втомної стійкості, холодостійкості. Сталь також повинна добре зварюватись. Окрім цього для певної групи виробів потрібні заготовки значної товщини. Виходячи з необхідного рівня властивостей сталь може поставлятись після різної термічної обробки.

При необхідності забезпечення рівня порогу текучості не менше 355 МПа використовують нормалізований прокат. Для забезпечення рівня 500 МПа використовують також операції термічного поліпшення і термомеханічної обробки. В останньому випадку застосовують сталі, мікролеговані ніобієм, ванадієм або титаном. Типовими представниками таких сталей є S420M3Z (% мас. частка): C = 0,09, Mn = 1,44, Ni = 0,22, Cu = 0,15, Mo = 0,05, Nb + V + Ti = 0,02 та сталь S520M3Z (%): C = 0,06, Mn = 1,58, Ni = 0,54, Cu = 0,28, Mo = 0,15, Nb + V + Ti = 0,02. Перша сталь забезпечує $\sigma_b = 500 - 660$ МПа, $\delta = 19$ %, КСУ при - 40 °С не менше 60 Дж/см². Друга відповідно – 600 – 750 МПа, 17 % і 60 Дж/см². Для випадків, коли потрібна особливо висока міцність використовують сталь S355J2G3, яка після термічного поліпшення забезпечує поріг міцності до 1100 МПа.

- Нова галузь енергетики із специфічними вимогами щодо матеріалів – це електростанції, які працюють на біопаливі та побутовому смітті. Температура при їх спалюванні 250 – 350 °С, температура перегріву пари в разі використання біомаси в межах 400 – 600 °С. Основною проблемою щодо вибору матеріалу для обладнання є специфічне корозійне середовище, що зумовлює хлоридну і сульфатну корозію, а також наявність важких легкоплавких металів. Виходячи з цього корпуси камер згорання виготовляють з біметалу – сталь 15Mo3 - Alloy 625. Використовують також хромисті та хромонікелеві корозійностійкі та жароміцні сталі типу 12CrMoV, 25Cr20NiMoNb, 25Cr6Si, 21Cr6Al.

*О.Л. Геллер, доктор технічних наук,
професор, Дортмунд, ФРН*